Problèmes de la visiotéléphonie avec adjonction de la couleur[1]

Fritz SCHRÖTER, Ulm

621.395:621.397.132

Probleme des Farbfernsehtelephons

Zusammenfassung. *Für das Fernsehtelephon («Visiotéléphonie», «Picturephone») wird farbige Übertragung des Partnerbildes gefordert. Zwei spektral komplementäre Grundfarbenbänder genügen. Zur Lösung bietet sich zeilenfrequenter Gegentakt der Signalentnahme aus zwei durch trennende Farbfilter beleuchtete Kleinstvidikons in baulich und schaltungsmässig miniaturisierter Kamera an. Der Empfänger ist ein Bildwandler mit Phosphorstreifen-Farbleuchtschirm und UV-belichteter Rasterphotokathode, die punktförmig von einem isoliert gespeicherten Ladungsbild mit elektrostatischem Durchgriff gesteuert wird. Dieser entsteht durch Sekundäremissions-Gleichgewichtspotentialverteilung; das gespeicherte Überblendungsbild erfordert ein verhältnismässig schmales Frequenzband.*

Résumé. *Pour la visiotéléphonie («Fernsehtelephon», «Picturephone»), une transmission colorée de l'image animée du partenaire est indispensable. Deux bandes spectrales complémentaires suffisent pour cela. La solution paraît possible avec deux vidicons-miniature placés dans une caméra miniaturisée, et munis de filtres colorants séparateurs pour permettre l'extraction du signal de transmission en flip-flop, à la fréquence-ligne. Le récepteur est un convertisseur d'images dont l'écran est formé par des raies de phosphore et excité par l'émission d'un réseau photo-électrique illuminé en UV. Ce système est commandé par une image électronique en forme de charges isolées, dont les lignes de force modulent la photo-émission point par point au moyen de la pénétration électrostatique. La distribution des charges suit le potentiel d'équilibre de l'émission secondaire. Avec l'effet de mémoire, on obtient sur l'écran la superposition continue de l'image avec une bande de fréquences relativement étroite.*

Problemi della visiotelefonia a colori

Riassunto. *Per la visiotelefonia («Fernsehtelephon», «Visiotelephonie», «Picturephone») è richiesta la trasmissione in colore dell'immagine del corrispondente. Sono sufficienti per questo due bande spettrali complementari. La soluzione è resa possibile con l'utilizzazione di due vidicon-miniatura illuminati attraverso filtri separatori di colore, e posti in una telecamera pure miniaturizzata; l'ottenimento del segnale dai due vidicon avviene in alternanza con la frequenza di riga. Il ricevitore è un convertitore d'immagine con schermo a bande fosforescenti e catodo a reticolo illuminato con raggi UV e pilotato, punto per punto, da un'immagine elettronica memorizzata costituita da cariche isolate, mediante penetrazione elettrostatica; questa è influenzata dalla distribuzione del potenziale d'equilibrio dell'emissione secondaria; l'immagine elettronica memorizzata richiede una banda di frequenze relativamente stretta.*

Introduction

L'évolution des télécommunications modernes marque deux tendances distinctes: d'une part, c'est seule l'économie cybernétique qui compte; d'autre part, c'est le naturel, l'originalité préservée de déformations du message. Dans la première de ces tendances, nous trouvons les méthodes de codage employées aussi en téléphonie au mépris du timbre naturel de la voix. La deuxième tendance se caractérise au contraire par l'effort opposé, poussé même jusqu'à la reproduction fidèle de l'ambiance acoustique du milieu ou de l'endroit d'où part l'émission sonore. Pensons, à titre d'exemple, à la stéréophonie.

Je ne voudrais pas discuter à fond les origines de cette divergence. La suprématie de la téléphonie commerciale, avec ses tendances économiques, est incontestable et les moyens techniques s'adaptent à cette nécessité en empruntant des artifices aux domaines apparentés tels que le calcul électronique et la transmission de données. Il n'est peut-être pas exagéré de considérer cette époque comme le début d'une révolution qui aboutira à confier la téléphonie à des automates insensibles au timbre de la voix humaine.

Tout en reconnaissant l'importance de cette évolution, les administrations n'accepteront pas de supprimer entièrement les installations capables de garantir des transmissions fidèles.

Ce serait en effet dégrader les télécommunications que de les considérer simplement comme moyen de transport d'informations par des signaux intelligibles. Leur vraie mission, sur un plan plus élevé, restera toujours de franchir les limites que l'espace oppose à la portée de nos sens. Pour la téléphonie, cela signifie que dans l'évolution future la liaison des partenaires doit aboutir à l'imagination d'un vrai rapprochement physique, culminant dans l'illusion de la vue et de l'ouïe, sans intermédiaire.

Dans cet ordre d'idées, la visibilité du partenaire deviendra tôt ou tard un complément désirable sinon indispensable du message auditif. La télévision associée à celui-ci est la *visiotéléphonie*.

D'autres raisonnements renforcent cette prédiction: Les usagers de la téléphonie, définitivement accoutumés à la télévision d'aujourd'hui, qui présente les êtres vivants à la vue aussi bien qu'à l'ouïe, ne voudront plus rester aveugles devant la forme de télécommunication la plus personnelle et la plus expressive qu'était jusqu'à nos jours la téléphonie. Etant donné que l'image animée augmente énormément la sensation d'un contact vivant et intime entre les partenaires, la visiotéléphonie deviendra un problème industriel de premier ordre à mesure que le progrès technique la rendra viable aussi au point de vue économique.

Mais alors la transmission monochrome de l'image ne suffira plus. Dans quelques années, la télévision en couleurs aura pris, en Europe, une extension analogue à celle que connut le système NTSC aux Etats-Unis au bout du même espace de temps. Or, si la visiotéléphonie doit reproduire l'apparence d'un homme avec tout son naturel, la couleur est sans doute plus essentielle que dans la télévision radiodiffusée, où l'image est premièrement une aide

[1] Exposé donné à l'occasion du 5e Symposium International de Télévision à Montreux, 1967

optique pour enrichir l'information auditive, ce qui n'exige pas toujours la couleur. En visiotéléphonie par contre, on ne veut pas voir une personne quelconque, c'est un individu déterminé qui intéresse, et dans ce cas tous les indices qui le caractérisent, y compris la teinte du visage, des cheveux, des yeux, etc., doivent être transmis avec un coloris impeccable. Nous y reviendrons plus tard.

Un coup d'œil rétrospectif

Parlons d'abord de certains projets qui remontent à l'époque des analyseurs d'images du type mécanique. C'étaient des machines volumineuses et bruyantes, telles que le disque de *Nipkow*, avec ses perforations disposées en forme de spirale dont la rotation explorait la distribution de l'éclairement dans le plan de l'image à transmettre. Ingénieux par sa construction simple, le disque de Nipkow a joué un rôle important dans les laboratoires; mais à mesure que le besoin d'améliorer la netteté de l'image transmise fit augmenter le nombre de lignes N, le rendement optique du disque diminua en proportion de N^2, ce qui permit de prévoir une limite infranchissable. En outre, le bruit du moteur et du disque persistait. Avec la roue à miroirs de *Weiller*, réhabilitée par le Prof. *Karolus*, le rendement baissa même en proportion de $N^{\sim 6}$! Il en allait plus ou moins de même pour d'autres dispositifs mécaniques ou mécano-optiques. Pour la visiotéléphonie, toutes ces machines bruyantes ne pouvaient convenir. Bien que leur démonstration se fît toujours sous la forme d'une liaison visiotéléphonique unilatérale, entre une jeune fille parlant devant l'analyseur et les spectateurs auxquels elle adressait la parole, placés devant l'écran, ces présentations publiques ne prétendaient pas montrer des solutions pratiques du problème. C'étaient plutôt des montages de laboratoire sans aucune importance industrielle et sans intérêt au point de vue économique.

Malgré tout, quelques démonstrations de modèles visiotéléphoniques portaient déjà sur la couleur. Mentionnons sommairement celles du *Laboratoire Bell* en 1930 et, ultérieurement, les projets et réalisations éphémères de *J. L. Baird* et du *Reichspostzentralamt allemand (Pressler, Otterbein)*.

L'avènement de l'époque électronique à la télévision n'a pas apporté de changements sensationnels à cette situation. Bien entendu, le tube à faisceau d'électrons devait remplacer les machines rotatives au poste récepteur, mais du côté émetteur on hésita longtemps à utiliser la caméra électronique, pour des raisons techniques aussi bien qu'économiques. On préféra à ce moment-là l'analyseur du type «flying spot» muni d'un tube cathodique avec un écran lumineux de très courte rémanence compensée artificiellement au circuit d'entrée de l'amplificateur du signal photoélectrique.

La *figure 1* montre une telle installation visiotéléphonique. La tube récepteur à écran rectangulaire se trouve au-dessus

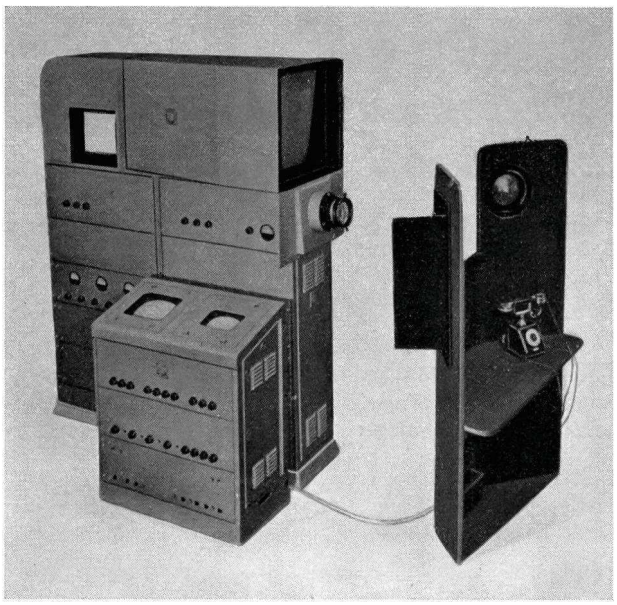

Fig. 1
Appareil de visiotéléphonie purement électronique, de 1939

de l'objectif qui projette le spot lumineux mobile sur la personne à transmettre. La lumière réfléchie de tous les points explorés est captée par un groupe de cellules photoélectriques multiplicatrices, qui débitent le signal de transmission. Ce montage demandait l'élimination de toute lumière parasite. On était donc obligé d'effectuer l'exploration dans une cabine noire.

Le plus grave inconvénient de cette construction était la non-coïncidence de l'axe optique du faisceau analyseur avec la direction du regard du partenaire. Au moment de fixer sa vue sur cette image, l'observateur lui-même apparaissait à l'autre bout de la ligne avec les yeux tournés vers le haut ou le bas, suivant la construction de l'ensemble. Il était, par principe, impossible de se regarder mutuellement d'une manière naturelle. C'est pourquoi j'ai proposé la disposition d'après la *figure 2*, facile à comprendre, qui élimine cet inconvénient au moyen d'une plaque semi-transparente S placée entre le tube flying spot R_s et le tube d'image R_e. Il fallait évidemment exclure tout d'abord l'apparition d'une trame lumineuse tracée sur l'écran de R_s par le flying spot, dans la direction où l'on regarde, à travers S, l'image transmise sur R_e. Par conséquent, le filtre F_1 devait supprimer toute lumière visible et ne laisser passer que la radiation ultraviolette. Q désigne un objectif de projection approprié à l'UV. Le miroir courbe H_1, H_2 collectionne les rayons réfléchis par la personne sur les cellules photomultiplicatrices Z_1, Z_2 munies de filtres sélectifs abrités (A), qui débitent le signal d'image.

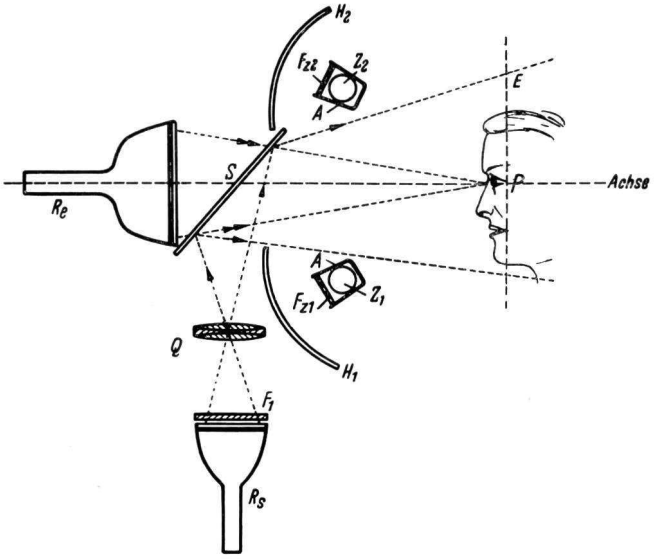

Fig. 2
Principe de la coïncidence des axes pour la vue et la prise

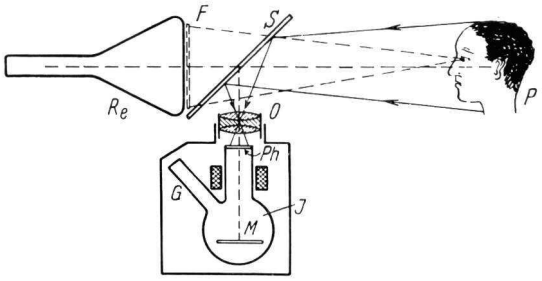

Fig. 3
Dispositif analogue à celui de la figure 2, utilisant une caméra à iconoscope

La *figure 3* montre schématiquement un pas en avant: Le tube flying spot est remplacé par une caméra à supericonoscope évitant de cette manière l'utilisation de la lumière ultraviolette. L'image de la personne fortement éclairée est projetée sur la cible à mémoire du supericonoscope au moyen de la plaque semi-transparente. Il est indiqué ici de maintenir un bon contraste par séparation spectrale entre la lumière émanant de l'écran de réception et l'éclairement de la personne dont la réflexion agit sur la caméra d'analyse.

Caractéristiques de l'image visiotéléphonique

La *figure 4* montre un projet basé sur le principe expliqué aux figures 2 et 3. J'ai publié cette conception dans le Bulletin du *Comité international de télévision* de 1956. Dans cet article, les éléments de transmission d'images sont en principe identiques à ceux de la figure 3. La figure 4 montre l'équipement d'une station terminus avec la caméra FK disposée au-dessous d'un cinescope à couleur BWF dont l'écran reproduit l'image du partenaire. C'est un système avec *deux* composantes de couleur en forme de larges bandes spectrales complémentaires dont nous parlerons plus tard. L'alternance devait ici se faire sous la forme de deux trames entrelacées, d'un 60e de seconde chacune, de chrominance alternant au même rythme. Au même instant, l'image projetée et enregistrée sur la cible de la caméra changeait de couleur par suite de commutation synchrone des tubes à décharge FLW d'émission différente, munis de filtres sélectifs. Par contre, l'alternance des deux couleurs devait être effectuée au tube récepteur BWF par le glissement continu d'un filtre portant des raies colorantes, parallèles au sens du balayage en lignes. Passant tout près de l'écran à émission blanche en synchronisme avec l'alternance des lignes, ce filtre formant une boucle n'avait qu'à se déplacer très lentement en parcourant la largeur d'une seule ligne pendant un 60e de seconde.

Bien qu'il en soit resté au stade de la conception, ce projet donna néanmoins certaines précisions sur les données et les conditions à respecter dans la visiotéléphonie, ainsi que sur les facilités qu'elle offre au point de vue des caractéristiques de transmission. Nous ne nous occuperons pas ici des problèmes variés concernant l'utilisation des différents canaux de télécommunication, ni de distribution

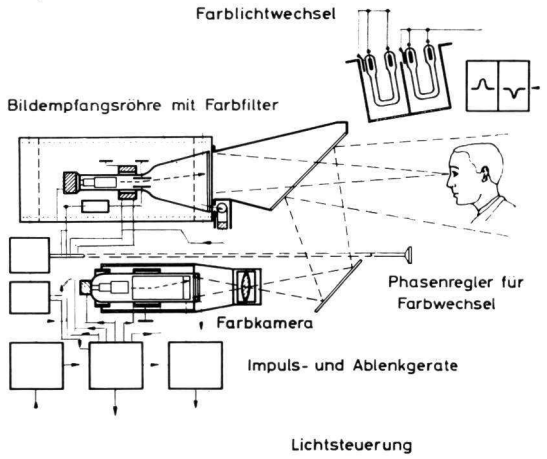

Fig. 4
Projet d'un poste de visiotéléphonie avec transmission de la couleur, publié en 1956

Bildempfangsröhre mit Farbfilter – Tube récepteur d'image avec filtre de couleur
Farblichtwechsel – Changement de couleur
Farbkamera – Caméra couleur
Impuls- und Ablenkgeräte – Dispositifs d'impulsion et de déviation
Lichtsteuerung – Commande de la lumière
Phasenregler für Farbwechsel – Régulateur de phase pour changement de couleur

du signal d'image aux abonnés; cela nous mènerait trop loin et doit être réservé à un exposé futur. Pour la même raison, la transmission de la voix peut être laissée de côté. C'est uniquement le poste terminus avec ses transformations optiques-électroniques locales qui fera l'objet de cette conférence.

Il est vrai que le développement des éléments qui constituent un tel poste devait avant tout considérer le rétrécissement possible de la largeur de bande de fréquences indispensables, afin de garantir une économie maximale en occupant les voies de la télécommunication. Le projet illustré par la figure 4 exigeait pour 225 lignes et 30 images complètes en 1 seconde une bande de 1 MHz, il fallait donc chercher des solutions permettant d'obtenir des économies de bande extraordinaires.

Cela nous a amenés à étudier de plus près les caractéristiques physiques et physiologiques d'une visiotéléphonie moins prétentieuse, mais praticable sans pertes de qualité visibles. Enumérons les points les plus importants:

1. Direction de balayage

En visiotéléphonie, les mouvements les plus fréquents et toujours répétés du visage humain vont en direction verticale (lèvres, paupières, sourcils, menton). Le champ d'exploration restreint et la tendance à se regarder mutuellement dans les yeux limitent les mouvement latéraux soudains et rapides. Il semble alors que, contrairement à la télévision diffusée, un balayage vertical soit indiqué. En utilisant la méthode moderne d'accentuation des transitions le long de la ligne tracée par le spot, on obtient une meilleure définition verticale, importante ici parce que les lignes les plus caractéristiques du visage humain sont principalement horizontales (menton, bouche, sourcils, rides du front).

2. Nombre de lignes

Une résolution de 180 lignes semble être suffisante à condition d'utiliser la méthode de superposition continue expliquée plus loin. Regardée d'une distance de 1,2 m avec une grandeur apparente de l'écran de 13 cm · 18 cm bien exploitée, l'image d'une personne dessinée par la trame de 180 lignes possède une netteté très satisfaisante.

Les dimensions réelles de l'écran lumineux du tube d'image seront évidemment plus petites que 13 cm · 18 cm, par exemple 7,80 cm · 10.80 cm mesurés sur l'écran lumineux d'un tube rectangulaire. L'agrandissement linéaire de 1,67 est alors obtenu au moyen d'une loupe placée devant l'écran de façon à produire une image virtuelle à 1,2 m de distance de l'œil, sans perte de brillance et sans distorsion géométrique au-dedans de l'angle assez étroit que l'usage de l'appareil implique.

3. Fréquence de balayage

Notre génération ne connaît plus le projecteur de cinéma inventé par *E. Mechau*, devenu fameux par la construction d'un dispositif optique mobile qui permit le transport du film en mouvement continu, non saccadé, le protégeant ainsi des ruptures assez fréquentes à ce moment-là. Pour convertir le défilement illisible en résultant sur l'écran en images stationnaires, Mechau fit réfléchir le faisceau de projection sur un cercle de miroirs rotatoires avec superposition d'un mouvement d'oscillation commandé par une glissière ondulée: machine de précision extraordinaire qui n'a jamais vu sa pareille, mais qui nous intéresse ici à cause d'un phénomène peu connu digne d'être étudié ci-après.

La lumière de projection est à tout moment partagée entre trois miroirs voisins qui effectuent sur l'écran l'exacte superposition stationnaire de trois images successives, numéros 1, 2, 3, mais de telle façon qu'en dépendance du mouvement du film et de la rotation des miroirs l'éclairement de n° 1 diminue vers zéro, tandis que l'éclairement de n° 3 va en augmentant et que n° 2 passe par le maximum de l'intensité lumineuse. Une fraction de seconde après, n° 2 assume le rôle de n° 1, n° 3 le rôle de n° 2, n° 4 le rôle de n° 3 et ainsi de suite, en succession continue. Etant donné que les trois images participent à cette transition en parfaite coïncidence géométrique de leurs cadres, tous les points qui doivent changer de luminance d'une image à l'autre subissent ce changement de manière continue, sans obscurcissement intermédiaire. Voilà une différence très importante par rapport au procédé usité pour la projection de films au cinéma.

Or, un effet sensationnel, qui est aussi du domaine physiologique, s'est montré lorsque, au cours des expériences, on abaissa le nombre de prises par seconde sur le film et en même proportion la vitesse de son passage au projecteur. Grâce à la superposition simultanée et entretenue des trois prises successives, on pouvait descendre jusqu'à 8 images par seconde sans voir de flicker ni de discontinuité stroboscopique de mouvements relativement lents, tels qu'ils sont possibles dans le cas de la visiotéléphonie et dont il faut tenir compte pour une bonne solution. Bien entendu, les mouvements rapides d'objets quelconques à travers l'écran présentaient dans le même cas des discontinuités gênantes. Mais ce serait pour notre problème un cas exceptionnel, sans importance.

Il semble alors que pour la visiotéléphonie une cadence de 10 images par seconde puisse convenir, pourvu que le récepteur soit à même de reproduire intégralement et de façon simple les supériorités optiques et physiologiques du projecteur Mechau. Nous en parlerons plus loin. Supposant une définition de 180 lignes et 10 images par seconde, la fréquence de modulation maximale calculée d'après les formules bien connues s'élève à 100 kHz à peu près. En comparaison avec la bande de 1 MHz qu'exigeait mon ancien projet, ce serait déjà une économie appréciable.

Je ne veux pas m'étendre ici sur les moyens d'obtenir des compressions plus poussées de la bande passante; c'est du domaine de la cybernétique des transmissions.

4. Chromaticité

Dans mon exposé de 1956, je me suis prononcé en faveur d'un système bichromatique et j'en ai donné des raisons qu'il suffira de résumer succinctement: Pour la visiotéléphonie, une bonne reproduction des teintes du visage, des yeux et des cheveux est particulièrement importante. L'intervalle spectral de ces teintes peut être couvert parfaitement bien par un système à deux composantes, comme l'ont démontré les expériences avec la pellicule en couleurs. Les teintes pourpres sont moins bien rendues, mais ce manque peut être compensé partiellement par le contraste que produit un éclairage jaunâtre autour de l'écran récepteur; le bleu non saturé donne alors l'impression d'être violacé. Du reste, cette gamme de teintes est de moindre importance, parce que dans la pratique l'éclairage de la personne sera concentré sur la tête laissant le reste, habits, cravate, etc., dans l'ombre.

Comme couple de composantes, je propose une bande spectrale ayant son centre dans le rouge-orangé, et son complément dans le bleu-vert nommé cyane. La droite faisant la liaison entre ces deux bandes passe près du point blanc dans le triangle de couleurs. Les deux coordonnées de chacune au triangle de couleur rectangulaire sont:

a) Centre de la bande rouge-orangé $x = 0{,}7260$
$y = 0{,}2740$

b) Centre de la bande vert-bleu $x = 0{,}0235$
$y = 0{,}4727$

Selon les mesures de *Middleton* et *Holmes*, l'œil, dans son évaluation de la couleur d'une surface très petite, par exemple d'un élément d'image en télévision, préfère les alentours de l'axe orangé-cyane qui est pratiquement identique à la ligne de jonction des deux centres indiqués en haut. Le schéma d'introduction des deux composantes dans l'image visiotéléphonique sera expliqué dans la section suivante.

Projet d'une solution avancée

D'après ce que j'ai dit, l'utilisation optimale des moyens de télécommunication existants ne fait pas l'objet de cette conférence. Occupons-nous donc exclusivement des équipements terminus sans ignorer les conditions que nous impose l'exploitation des appareils imaginés pour faire les transformations optiques et électroniques nécessaires, en envisageant la transmission de la couleur effectuée par le signal vidéo même. En ce qui concerne ce dernier point, les difficultés majeures se présentent du côté récepteur. Mais il faut toujours se rendre compte de la coexistence d'un appareil émetteur et d'un récepteur dans la même station,

Fig. 5
Picturephone de l'ATT, vue du récepteur

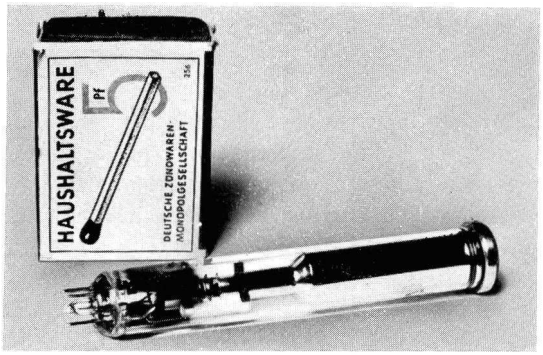

Fig. 6
Vidicon nain des PTW permettant une définition de 200 lignes

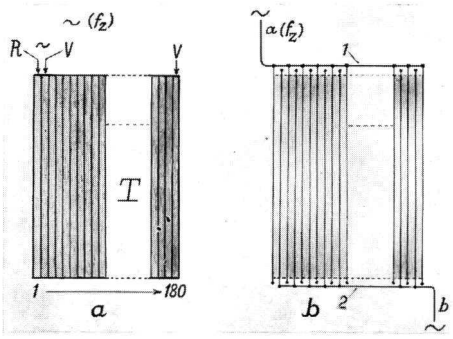

Fig. 7
Ecran lumineux bichromatique composé de raies de phosphore parallèles, d'émission complémentaire alternant à la fréquence-ligne

les deux faisant une unité qui se répète identiquement chez tous les abonnés; c'est alors le degré de simplicité de cette unité qui décide de l'économie totale de l'installation. Dans le développement de la visiotéléphonie, la miniaturisation des éléments de construction jouera aussi un rôle très im-

portant, ce d'autant plus qu'elle permettra de comprimer efficacement l'encombrement de l'appareillage. La miniaturisation ne s'arrête même pas devant les tubes. A titre d'exemple, la *figure 5* montre la partie récepteur d'un poste visiotéléphonique tel que l'on en rencontre dans plusieurs grandes villes américaines, et la *figure 6* un vidicon-nain élaboré aux ateliers des PTW du Professeur *Heimann* à Wiesbaden, un vrai type «crayon» qui permet quand même une résolution de 200 lignes. C'est le prototype du tube analyseur d'images que je compte prévoir dans le projet dont nous allons parler maintenant. La cible photoélectrique du vidicon pourrait, par exemple, être du type semi-conducteur spécialement sensible mis au point aux laboratoires Bell, par dispersion d'un très grand nombre d'ilôts activateurs minimes sur une couche de silicium.

L'analyse et la synthèse de la couleur se font, dans le système bichromatique proposé, sous forme de deux trames entrelacées, de 90 lignes chacune, mais de manière à changer la composante de couleur à la séquence des lignes, comme le montre la *figure 7a*, où R désigne la composante rouge-orangé et V la composante vert-bleu, avec les coordonnées indiquées précédemment. La teinte mixte résulte alors du rapport des luminances dans l'enceinte de chaque élément d'image par mélange à l'œil, peu sensible aux transitions brusques de la chromaticité, et l'alternance rapide des deux composantes supprime certaines perturbations connues dans d'autres systèmes, par exemple le papillottement de couleur, les contours bigarrés et autres.

Le schéma du dispositif analyseur est montré sur la *figure 8a*. Le rayon axial A partant de la personne éclairée passe par la plaque semi-transparente inclinée St et le filtre FR au vidicon V_1; le rayon D dévié sur St passe par le miroir ordinaire et le filtre FV au vidicon V_2. Ces deux filtres ont des caractéristiques de transmission spectrale correspondant aux données de R et V indiquées si l'on utilise un éclairement de composition spectrale définie (lumière du jour ou lampe à incandescence). Aux deux sorties des vidicons, un commutateur C commandé par la fréquence de lignes f_z opère de façon à effectuer la séquence des lignes d'analyse selon le schéma de la figure 7. Le signal vidéo S convenablement amplifié est transmis au récepteur. La plaque séparatrice St peut éventuellement agir comme filtre sélectif par dichroïsme adapté aux besoins du système bichromatique et être substituée aux filtres séparés FR et FV. Les vrais problèmes concernent la réception. Permettez-moi de revenir pour cela au projecteur de pellicules Mechau, en tâchant d'égaler ses mérites par une mémoire électronique capable de reproduire tous les éléments d'une image simultanément et en permanence, avec superposition non interrompue en passant d'une image à l'autre, même pas sur les quelques éléments où la luminance doit varier en direction positive ou négative. L'image visiotéléphonique ne connaît pas de variations importantes ou soudaines; le coefficient d'autocorrélation reste donc près de l'unité, ce qui devrait permettre d'abaisser considérablement la fréquence d'analyse si l'on disposait d'une mémoire appropriée.

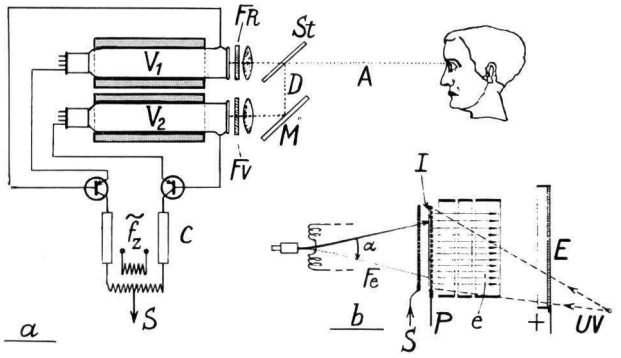

Fig. 8
Nouveau projet d'un poste visiotéléphonique avec adjonction de la couleur, utilisant la réception à mémoire

Pour réaliser ce modèle, l'électronique ne connaît qu'une seule méthode praticable: c'est l'action d'une grille dont le potentiel fixe le potentiel d'arrêt sur un isolant placé en face de cette grille aussitôt qu'un bombardement d'électrons primaires amorce une émission d'électrons secondaires lents à la surface isolante («barrier grid control»). L'égalité des quantités d'électrons perdus et gagnés détermine alors sur l'isolant un potentiel d'équilibre qui dépend uniquement du potentiel instantané de la dite grille; c'est une réaction qui se produit sans inertie *dans les deux sens de modulation*, positif ou négatif, à condition de respecter certaines conditions géométriques dans le système émetteur.

Voilà une chance de réaliser une mémoire électronique qui permette la succession d'images entières en superposition continue et sans obscurcissement intermédiaire, avec une réduction considérable de la largeur de bande de fréquence nécessaire, qui pourrait diminuer jusqu'à 100 kHz près.

Le projet d'une solution est montré à la figure 8b. Un faisceau d'électrons constant Fe balaie à travers les ouvertures d'une grille S une mince couche isolante I. Le potentiel de S est modulé par le signal vidéo; les charges déposées sur I reproduisent donc une image électronique. Cette distribution de charges peut être conservée sans aucun affaiblissement perceptible pendant un temps très long par rapport à la période de balayage d'un point d'image fixe, et ce n'est qu'au retour du faisceau au même point que la charge de celui-ci peut augmenter ou diminuer en proportion avec un changement local intervenu dans l'image originale, et également sur la grille S. Mais comme, d'autre part, la majorité des éléments d'image et aussi leurs signaux

restent invariables pendant un nombre aléatoire de balayages, le potentiel de la grille S et celui de l'isolant I ne subiront aucun changement pendant ce temps puisque l'équilibre de l'émission secondaire sera complètement atteint déjà au premier balayage, pour rester indifférent aux balayages répétés durant l'intervalle en question. En somme c'est le modèle d'une excellente mémoire électrostatique capable de commander et de soutenir à volonté une mosaïque d'émissions variées et simultanées qui représente une image.

Nous voyons à la figure 8b l'exemple d'un tube convertisseur d'images dans lequel l'image électronique retenue sur la feuille isolante I commande une distribution conforme de photoélectrons émanant d'une photocathode P éclairée de lumière ultraviolette UV. Nous utilisons ici l'effet de pénétration des lignes de force électrique qui traversent un réseau d'ouvertures percées dans la couche photosensible. A mesure que la différence de potentiel entre P et I varie sur un point quelconque de la surface émissive, son émission de photoélectrons sera supprimée ou, plus ou moins, débloquée, et conformément à cette distribution, le faisceau d'électrons intégral, e, reproduira sous l'action d'une lentille magnétique l'image transmise sur l'écran lumineux E.

Il faut évidemment se figurer le dispositif montré schématiquement à la figure 8b soudé dans une ampoule et opérant sous un vide parfait. L'effet de commande par pénétration susmentionné a été étudié de manière systématique à l'*Institut de physique de l'Université de Bonn*, par MM. *G. Rettinghaus*, le Prof. *Jaeckel* (†) et moi-même.

Le type de convertisseur d'images qui remplace ici pour la première fois le tube d'image usité en télévision a déjà atteint une performance extraordinaire, surtout en ce qui concerne la netteté de l'image dépassant l'ordre de 1000 lignes sur un écran de 10 cm de hauteur, sans distorsions perceptibles lorsqu'on utilise une lentille magnétique. Même avec 2 ou 3 dynodes d'amplification par électrons secondaires placées entre la photocathode et l'écran, largement suffisantes pour obtenir une image brillante sans trop charger la photocathode, la définition de l'image finale dépasse de beaucoup les valeurs qui nous intéressent ici.

Une alternative remplaçant la photocathode par un système emprunté du Tonotron *(figure 9)* ou d'une construction semblable issue des laboratoires de la RCA (M. *Knoll*) est actuellement l'objet d'études. Dans ce cas, la cible à mémoire correspondant à l'isolant I de la figure 8b est une grille qui permet ou empêche l'entrée d'électrons lents amenés par un arrosage homogène de sa surface, dans un champ accélérateur où ils sont projetés sur l'écran. Il est certainement prématuré d'y voir une solution de notre problème supérieure à celle esquissée sur la figure 8b.

Quant aux effets dont l'union crée la qualité remarquable des images produites par le projecteur Mechau, la solution

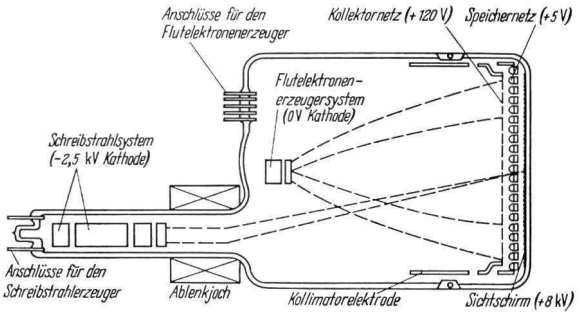

Fig. 9
Schéma du Tonotron de la Compagnie Hughes Aircraft, à mémoire
Anschlüsse für den Schreibstrahlerzeuger – Raccordements pour générateur de faisceau d'image
Schreibstrahlsystem – Système de faisceau d'image
Anschlüsse für den Flutelektronenerzeuger – Raccordements pour générateur d'électrons d'arrosage
Ablenkjoch – Système déviateur
Flutelektronenerzeugersystem – Système générateur d'électrons d'arrosage
Kollektornetz – Réseau collecteur
Kollimatorelektrode – Electrode du collimateur
Speichernetz – Réseau à mémoire
Sichtschirm – Ecran

du récepteur visiotéléphonique décrite plus haut ne présente qu'une seule faiblesse, plutôt théorique du reste. La superposition continue sur chaque point de 3 portions de lumière partagées entre 3 images successives, en participation glissante, n'existe pas dans notre cas. La compensation au moins partielle de ce défaut, par dosage approprié de la rémanence sur l'écran luminescent, reste confiée aux spécialistes des matières fluorescentes.

Sur l'écran récepteur, la commutation des deux vidicons montrée sur la figure 8a, effectuée à la fréquence-ligne f_z, doit commander l'alternance synchrone de la coloration des lignes d'après la figure 7a. Mais ici, le paquet intégral de faisceaux élémentaires émanant de toute la surface photoémissive doit être dirigé de façon que la succession des R et V provoquée sur l'écran corresponde exactement aux signaux conjugués alternants qui viennent de l'émetteur. Il est donc indispensable que le déplacement horizontal du faisceau inscripteur balayant l'isolant I selon la figure 8b soit bien réglé sur la distribution alternative des raies de phosphore sur l'écran, afin d'éviter des erreurs de couleur résultant de la déviation non-linéaire probable. A cet effet, deux réseaux de fils conducteurs minces entrelacés sont tendus vis-à-vis de la surface d'inscription de I et polarisés par de faibles impulsions de la fréquence f_z dont l'amplitude varie à tout instant en fonction de la non-linéarité, mais en sens inverse. Cette correction résulte par comparaison de la dent de scie de déviation horizontale avec un voltage de référence constant. La figure 7b nous enseigne comment cette méthode assure la correspondance géométrique entre la position relative des lignes écrites sur I et les positions des raies de phosphore; par simple transformation de

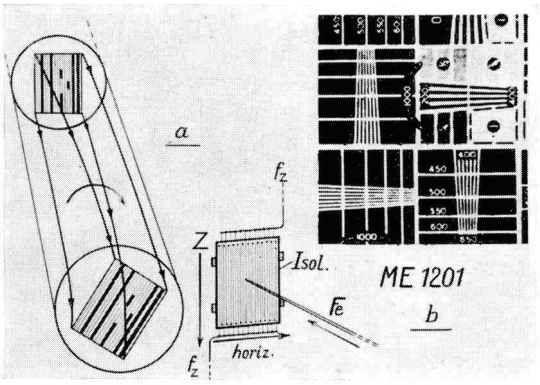

Fig. 10
Principe de la réception par convertisseur d'image à photocathode en forme de grille. Absence de déformation dans le cas d'un champ focalisateur magnétique

l'échelle, le système des fils semble recouvrir parfaitement la surface de l'écran bichromatique. Mais il va sans dire que les fils se trouvent, en vérité, placés dans la section du tube traversée par le faisceau inscripteur, en face de l'isolant I.

Pour finir, parlons d'une autre conception devenue intéressante par de récents progrès de la technique des convertisseurs d'images, à savoir l'excellente précision de la projection sur l'écran dans le cas d'une lentille magnétique (voir la *figure 10b*) et la possibilité d'amplifier énormément le courant photoélectrique primaire dans le tube même, par une chaîne de dynodes qui n'introduisent que très peu de distorsion dans l'image finale. Le champ de focalisation stationnaire du convertisseur garantit, avec les précautions dues, une coordination fixe entre chaque point émissif de la photocathode et son image électronique sur l'écran. C'est une loi invariable malgré la rotation des trajectoires des électrons dans le champ magnétique. On le voit sans plus d'explications à la figure 10a. Par conséquent, il paraît possible de construire l'écran bichromatique suivant la figure 7a et la photocathode suivant la figure 10a, c'est-à-dire de constituer des réseaux de minces fils F sensibilisés, dont l'émission est commandée, point par point, par les potentiels enregistrés sur la mémoire électrostatique I comme à la figure 8b. Tout cela se passe évidemment en éclairant la surface photoémissive de lumière invisible. Avec la précision de construction indispensable et l'agrandissement au tube bien réglé, l'image électronique de chaque fil photoémissif coïncidera toujours avec la raie de phosphore qui lui est réservée.

Adresse de l'auteur: Prof. Dr. F. Schröter. AEG-Telefunken, Forschungsinstitut, Söflingerstr. 100, D-7900 Ulm/Donau